第 9卷 第 6期
2005年 11月
遥 感 学 报
JOURNAL OF REMOTE SENSING
Vol. 9, No. 6
Nov., 2005

文章编号: 1007-4619(2005)06-0646-07

基于灰集的不确定性时空数据模型

包 磊,秦小麟
(南京航空航天大学 信息科学与技术学院,江苏 南京 210016)

摘 要: 不确定性处理是时空数据库面临的新问题。其研究的首要任务是对不确定时空对象进行建模,研究时空不确定性的表示和存储,进而设计离散模型实现数据库系统。提出了建立在灰集理论上的时空数据抽象模型,适合处理部分已知部分未知的不确定对象。首先给出了抽象数据类型的定义,包括建立在灰集理论上的基本数据类型,空间数据类型和时空数据类型;随后对不确定时空分析操作进行了简单的定性分析;最后给出不确定性时空查询的表达方式。

关键词: 时空数据库;灰集理论;不确定性;抽象数据类型
中图分类号: P208 **文献标识码**: A

1 引 言

当前有关时空数据库的研究成果主要针对确定性时空对象,即要求时空对象具有确定的时空运动关系。而在大量实际应用系统中,这些信息往往是不具备的。现实世界中大量对象不仅具有不确定的空间信息,同时在时间上也是不确定的。这时时空数据库所面临的问题就是如何表示存储和处理空间、时空运动关系不确定的对象,根据存储的已知信息进行不确定性时空分析,处理用户的不确定性查询。

针对空间对象的不确定性,Schneider等人探讨了模糊区域的表示[1],并给出建立在二维欧氏空间上的模糊点、模糊线的形式化定义[2]。根据抽象模型,建立了模糊空间数据离散模型,利用“核/支持集”距离进行模糊数据隶属度的计算[2]。还有人分析了模糊拓扑关系、模糊方向关系和模糊距离关系等模糊空间对象关系[3]。Keukelaar提出的思路利用粗糙集理论,不需要预先提供隶属函数,直接从对象的描述集合出发,确定给定对象的近似域[4]。该粗糙集模型具有较强的定性分析能力,可以有效界定模糊对象相互之间的关系,但是由于偏重外延,在描述对象本身的不确定性上有较大局限性。有关时空不确定性方面,Tossebro等人将模糊空间数据模型进行时态提升[5],得到模糊时空数据模型[6]。该模型解决了不确定性时空数据的表示问题,但是回避了时空不确定性的系统化描述。由于需要事先提供对象的隶属函数,而在时间、空间不确定性相互不独立的情况下,需要用一组函数而不是一个函数来描述不确定性[7],因此该模型在实现上过于复杂,离实现还有很大的差距。一些研究者根据不同的应用要求,提出一些适用于某类时空对象不确定性的处理方法。O. Wolfson基于移动点目标的特性,加入对象的动态属性(dynamic attributes)得到MOST(Moving Objects Spatial Temporal model)模型[8],并提出了4类不确定性时空查询并在原型系统DOMINO中给出相应实现。N. Cressie以战场仿真系统中作战平台的威胁区域作为不确定的时空对象来处理,提出了噪声环境下对不确定的区域对象进行时空预测的方法[9]。这些研究面向实际应用,能够处理某类不确定时空对象,但是无法提供完整的时空数据类型系统。

在之前工作的基础上[10,11],我们提出基于灰集理论的时空数据模型。该模型以灰集理论为建模基础,放宽了对象的限制,可以在“部分信息已知,部分信息未知”的灰色信息环境下处理不确定时空对象。目前我们正在时空分析数据库STADBS[10]基础

收稿日期: 2004-05-08; **修订日期**: 2004-11-09
基金项目: 国家自然科学基金资助(69973032);江苏省自然科学基金项目(BK2001045)。
作者简介: 包磊(1977—),男。1999年于海军工程大学指挥自动化专业获得硕士学位。现为南京航空航天大学博士研究生,海军工程大学讲师,主要研究方向为时空数据库。E-mail: blnj2000@nuaa.edu.cn。

上开发基于该模型的不确定性时空数据库原型系统。

2 灰集理论[12]

所谓灰数[13]是只知道确切范围而不知道其确切值的数。所谓灰集合,是指以上下隶属函数图像以及夹在其间的带形区域为原像的元素所构成的集合。此带形区域可称为灰带。这个集合的上下隶属度是已知的,但内在隶属度还不知道,如图 1。

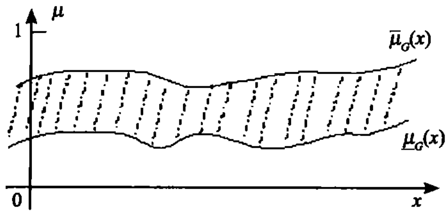

图 1　灰集的上下隶属函数

Fig. 1　Upper/Lower membership function of grey sets

当上隶属度等于下隶属度(即 $\overline{\mu}_G=\underline{\mu}_G=\mu$)时,灰带退化为一条曲线,正是模糊集合的像。进一步,当曲线退化为直线 $\mu=1$或 0时,正是普通集合的像。普通集合和模糊集合是灰集合的特例。

定义 1　设 U=R,给定了从 U到闭区间[0, 1]的两个映射

$\overline{\mu}_G:U\to[0,1],\ u\mapsto\overline{\mu}_G(u)\in[0,1]$和

$\underline{\mu}_G:U\to[0,1],\ u\mapsto\underline{\mu}_G(u)\in[0,1],\ u\in U$

则称 G为一个灰数,其中,$\overline{\mu}_G\geq\underline{\mu}_G$,分别称为 G的上隶属函数和下隶属函数;$\overline{\mu}_G(u)$和 $\underline{\mu}_G(u)$称为元素 u相对于 G的上隶属度和下隶属度。

特别的,如图 2所示,当 $\overline{\mu}_G=1$, $\underline{\mu}_G=0$,称灰数 G为邓氏灰数,当 $\overline{\mu}_G=\underline{\mu}_G=1$时,称灰数 G为层次型灰数。自然界中大部分对象都可以用邓氏灰数或层次型灰数来表示。

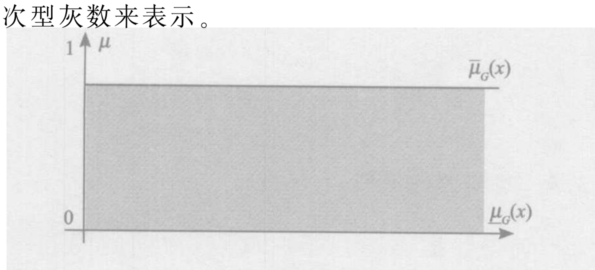

图 2　邓氏灰数的上下隶属函数

Fig. 2　Membership functions of Deng's grey sets

定义 2　灰数的白化值指的是在其区间上找出的"权"最大,即隶属度最大的实数值,它可以代表整个灰数参加建模和运算[14]。

3 灰色时空数据类型

基于灰集理论,构建了不确定性时空数据的灰色模型。

3.1 基本类型

定义 3　$G_{real}=\{(a, b, Upper, Lower, Whiten)|a, b\in R\wedge Upper:[a, b]\to R\wedge lower:[a, b]\to R\wedge Whiten:[a, b]\to R\wedge a\leq b\wedge Upper\geq Lower\wedge IsMemberFunc(Upper)\wedge IsMemberFunc(Lower)\wedge IsWhitenFunc(Whiten)\}$

定义 4　$G_{integer}=\{(E, Upper, Lower, Whiten)|E\subset Z\wedge Upper:E\to R\wedge lower:E\to R\wedge Whiten:E\to R\wedge Finite(E)\wedge Upper\geq Lower\wedge IsMemberFunc(Upper)\wedge IsMemberFunc(Lower)\wedge IsWhitenFunc(Whiten)\}^{1}$

其中　$IsMemberFunc(\mu)\equiv\forall x\in R, \mu(x)\in R\wedge\mu(x)\geq0\wedge\mu(x)\leq1$, $IsWhitenFunc(w)\equiv\forall x\in R, w(x)\in R\wedge w(x)\geq0\wedge w(x)\leq1$。

G_{real}类型值对应一个五元组,a, b是该灰数的区间,Upper, Lower, Whiten是灰数的上、下隶属函数以及白化隶属函数。在存储实现上,a, b作为浮点数存储。而隶属函数的存储有多种方式,系统可以预先设定一系列的隶属函数,然后在五元组中仅仅存放该函数的有关标记[6],也可以由系统专门的模块以对象的方式存储隶属函数。对于部分已知、部分未知的某些数据,灰数的上、下隶属函数可简单以 1, 0来表示。除非事先拥有白化隶属函数,大部分的白化函数可以采用等权白化函数[14]来替代,即 $Whiten=\alpha a+(1-\alpha)b$, $\alpha\in[0, 1]$。这样,G_{real}的存储对应一个五元组(a, b, 1, 0, α)。而确定的 real类型数字对应的五元组为(r, r, 1, 1, 1)。

$G_{integer}$类型值对应一个四元组,E是该值的离散取值区间,为有限集,Upper, Lower, Whiten对应灰数的上、下隶属函数以及白化隶属函数。在存储实现上,E作为整数集合单独存储,一般情况下,$G_{integer}$作为邓氏灰数存储,白化函数可以直接用白化值来替代,因此表示为元组(E, 1, 0, w),其中 w为整型。而一个确定的 integer类型数字对应的四元组为(i, 1, 1, i)。

定义 5　$G_{prob}=[0, 1]$

$G_{Bool} = \{False, True, Maybe\}$

$G_{grey} = [0, +\infty]$

由于灰数本身不仅包含了是、否和有可能的逻辑信息,还同时包含了“不知道”的灰色信息,因此这里增加了灰度类型,以对信息的未知程度进行评价。

3.2 空间类型

在定义不确定空间数据类型时,需要用到一些确定型时空数据类型,这些类型的定义来自于文献[10],[11],在下文中以 $A_{(\alpha)}$表示。

3.2.1 不确定的点

不确定的点类型值代表空间上一个位置不确定的点对象,该对象可以是位置精确已知的,也可以是位置部分已知的。对于不确定点和点集的定义如下:

定义 6 $G_{point} = \{(p, q, Upper, Lower, Whiten) \mid p \in A_{point} \wedge q \in A_{point} \wedge Upper: A_{region[p,q]} \rightarrow R \wedge lower: A_{region[p,q]} \rightarrow R \wedge Whiten: A_{region[p,q]} \rightarrow R \wedge p.x \leqslant q.x \wedge p.y \leqslant q.y \wedge Upper \geqslant Lower \wedge IsMemberFunc(Upper) \wedge IsMemberFunc(Lower) \wedge IsWhitenFunc(Whiten)\}$

$G_{points} = \{P \subseteq G_{point} \mid Finite(P) \wedge \forall Gp, Gq \in P, Gp \neq Gp \rightarrow Disjoint(Gp, Gq)\}$

定义中,p,q是确定型 point类型,以 p为左上、q为右下的矩形区域包含了该 G_{point}值的所有取值范围,Upper, Lower和 Whiten函数是定义在该区域上的上、下隶属函数和白化隶属函数。一般地,该值作为邓氏灰数处理时,相应的上下隶属函数为 1,0。而白化隶属函数取等权白化函数。

在 G_{point}值的相互关系上,判别规定如下:

(i) $gp_1(a, b) = gp_2(c, d): \Leftrightarrow a = c \wedge b = d$

(ii) $gp_1(a, b) \neq gp_2(c, b): \Leftrightarrow \neg (gp_1(a, b) = gp_2(c, d))$

(iii) $Disjoint(gp_1(a, b), gp_2(c, d)): \Leftrightarrow Support(gp_1) \cap Support(gp_2) = \phi$

其中 Support(p)规定为 p.Upper$\geqslant 0$的区域。

3.2.2 不确定的线

定义 7 $G_{curve} = \{(UBound, LBound, Upper, Lower, Whiten) \mid UBound, LBound \in A_{curve} \wedge UBound \geqslant LBound \wedge Upper: CC \rightarrow R \wedge lower: CC \rightarrow R \wedge Whiten: CC \rightarrow R \wedge Upper \geqslant Lower \wedge IsMemberFunc(Upper) \wedge IsMemberFunc(Lower) \wedge IsWhitenFunc(Whiten)\}$

$CC = \{c \mid c \in A_{curve}, UBound \geqslant c \geqslant LBound\}$

不确定的曲线段类型表示为一个带状区域,该区域由上下包络函数组成,类似于灰数的上、下隶属函数,不确定的曲线段包含在上下包络函数之间。凡位于该区域内的 A_{curve}值,对应相应的上、下隶属度。同样该灰数一般作为邓氏灰数来处理。

UBound和 LBound组成的区域称为 Support区域。

定义 8 $G_{line} = \{CS \subseteq G_{curve} \mid \forall c1, c2 \in CS \Rightarrow Disjoint(c1, c2)\} \wedge Finite(CS)\}$

其中 $Disjoint(c1, c2) \Leftrightarrow Support(c1) \cap Support(c2) = \phi$

3.2.3 不确定的区域

定义 9 $G_{complex} == \{(UBound, LBound, Upper, Lower, Whiten) \mid UBound, LBound \in A_{complex} \wedge UBound \geqslant LBound \wedge Upper: CX \rightarrow R \wedge lower: CX \rightarrow R \wedge Whiten: CX \rightarrow R \wedge Upper \geqslant Lower \wedge IsMemberFunc(Upper) \wedge IsMemberFunc(Lower) \wedge IsWhitenFunc(Whiten)\}$

$CX = \{x \mid x \in A_{complex}, Upper \geqslant c \geqslant Lower\}$

定义 10 $G_{Region} = \{Gr \subseteq R^2 \mid \exists C \in G_{complex}, Gr = points(C)\}$;

区域的不确定性主要来自于其边界包络线的不确定。不确定区域可以理解为位于某不确定的包络曲线内的点集,而该包络曲线则夹在两套确定的包络曲线之间。同样 $G_{complex}$可为邓氏灰数或层次型灰数。由 LBound包络的确定区域是该不确定区域的“核”,而 UBound和 LBound组成的区域是 G_{Region}的边界区域。

G_{point}, G_{curve}, G_{Region}的支持集图见图 3,图 4,图 5。

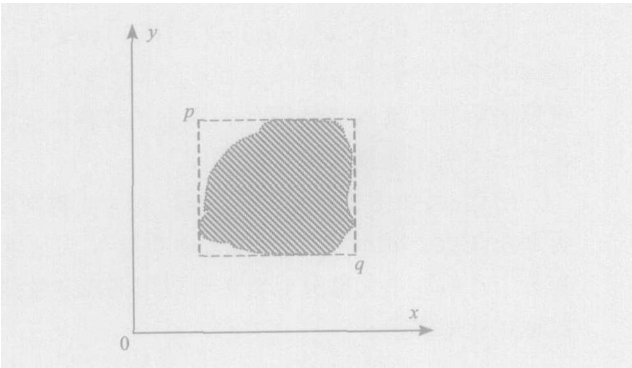

图 3 G_{point}的抽象表示

Fig. 3 Representation of G_{point}

3.3 时间数据类型

时态数据类型包括时间点、时间间隔和时间区域:

定义 11 $G_{instant} = G_{real}$

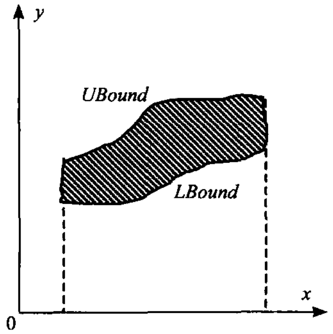

图 4　G_{curve}的抽象表示

Fig. 4　Representation of G_{curve}

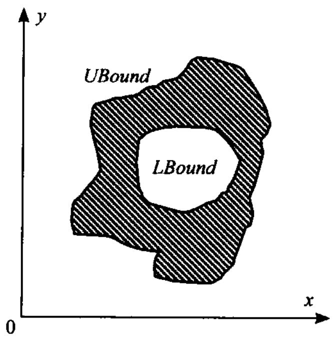

图 5　G_{region}的抽象表示

Fig. 5　Representation of G_{region}

定义 12　$G_{interval} = \{(Ibegin, Iend) \mid Ibegin, Iend \in G_{instant} \wedge Iend \geq Ibegin\}$

定义 13　$G_{range} = \{IVS \subseteq G_{interval} \mid \forall i1, i2 \in IVS \Rightarrow Disjoint(i1, i2) \wedge Finite(IVS)\}$

时间点数据类型定义为灰实数,而时间间隔类型为两个灰色时间点之间的连续线性区间,时间区域类型由有限个互不相交的时间间隔组成。

3.4　时空数据类型

通过对基本数据类型和空间数据类型进行时态提升,得到不确定时空数据类型。该时态提升通过τ算子[15]来实现,对于任一基本或空间类型 α,相应的时空类型对应一个以该类型为定义域的函数τ(α),该函数由有限个连续的部分组成。

定义 14　$G_{moving(\alpha)} = = \{(UBound, LBound, Upper, Lower, Whiten) \mid UBound, LBound \in A_{moveing(\alpha)} \wedge UBound \geq LBound \wedge Upper: TX \to R \wedge lower: TX \to R \wedge Whiten: TX \to R \wedge Upper \geq Lower \wedge IsMemberFunc(Upper) \wedge IsMemberFunc(Lower) \wedge IsWhitenFunc(Whiten)\}$

$TX = \{t \mid t \in A_{moveing(\alpha)}, UBound \geq t \geq LBound\}$

由定义,不确定的时态模型 $G_{moving(\alpha)}$表现为空间和时间维上的一个不确定的函数,该函数被限定在 UBound和 LBound所夹的灰色区域内,UBound和 LBound是确定的时空类型,表现为一个由有限个连续部分组成的函数。在该区域上它拥有上下隶属函数和白化隶属函数。图 6和图 7给出了不确定运动点的几何表示和抽象表示。一般情况下,$G_{moving(\alpha)}$可为邓氏灰数,其上、下隶属函数为 1, 0。相应的白化隶属函数可采用等权白化。

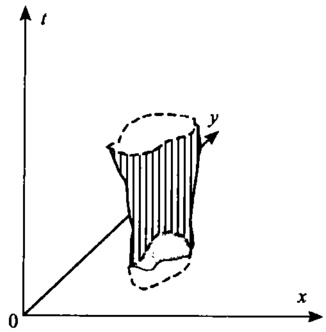

图 6　$G_{moving(point)}$

Fig. 6　The geometric representation of $G_{moving(point)}$

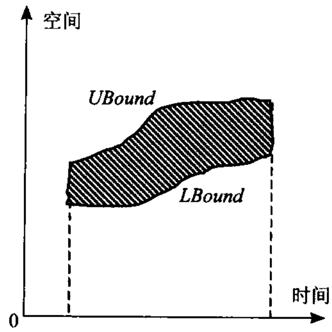

图 7　$G_{moving(point)}$的时空抽象表示

Fig. 7　The abstract representation of $G_{moving(point)}$

$G_{moving(\alpha)}$的某个可能取值可以以用一个基于时间的二元序列来离散化表示。而完整的 $G_{moving(\alpha)}$可以表示为(Upper二元组,Lower二元组,1, 0, Whiten二元组)。这里存在 2种情况,包括[8]:

①依时间点记录的变化。在固定时间点上抽取到空间对象的几何信息,在下一个时间点上抽取到新的信息,在两个时间点之间的对象信息是未知的。尽管时间点、空间对象的几何信息有可能是不确定的,但是,时间、空间不确定性相互之间不发生影响。

②依时间段记录的变化。把不确定性进一步扩大,由于不知道空间对象的实际几何信息,因此影响

到时间段的确定,反过来由于时间的不确定,空间对象的几何信息也无法确定。当空间对象的状态发生变化时,开始一个新的时间段,在时间段中,对象几何信息未知。

对于情况①,可以用(Upper, Lower, 1, 0, Whiten, Instant)来表示 $G_{moving(\alpha)}$ 的序列内容,因为这里的时间点 Instant是确定的,但是对于情况②来说。在(Upper二元组, Lower二元组, 1, 0, Whiten二元组)元组中, Upper, Lower和 Whiten二元组中的 Instant不再是确定型时间类型 $A_{instant}$, 而是一个区间型灰数 $G_{instant}$。

4 不确定性时空操作

在确定性时空数据模型基础上,我们对时空数据的分析操作进行了分析,得到了比较完整的时空数据分析操作集,并给出了相应算法的实现[10]。引入不确定性后,有些操作不再有意义,有些操作需要进行修改,另外需要增加一些新的操作。篇幅所限,这里我们作简单定性讨论。更详细的研究将另文讨论。

首先需要增加操作对数据的不确定性进行衡量。对不确定性进行衡量的操作包括: Greyness, WhitenValue和 Support。

定义 15 设有灰数 $G[a, b]$, $a<b$, 则 $Greyness(G)=\frac{l(G)}{|\bar{G}|}$称为 G的灰度。其中 $l(G)$为 G的定义信息域的长度, $\bar{G}$是 G的均值白化数。

Greyness(α)操作返回对 α的灰度,而 α的灰度实际上代表的是该灰数的信息含量是其未知性的度量。α的取值可以是本文的列出除 G_{grey}和 G_{bool}外的任何一种数据类型。

Greyness $G_\alpha \rightarrow G_{grey}$

WhitenValue(α)操作返回 α白化值,α的白化值反映其最可能的取值。本文列出的除 G_{grey}和 G_{bool}外的所有数据类型,都有相应的白化值对应。

WhitenValue $G_\alpha \rightarrow A_\alpha$

其中, A_α 是 α类型对应的确定性数据类型。

Support(α)操作返回 α的支持集,即可能的取值范围,例如 G_{real}值返回一个一维区间,而 G_{curve}值返回一个带型区域。本文列出的除 G_{grey}和 G_{bool}外的所有数据类型,都可执行 Support操作,而不同数据类型的 Support集见相关的类型定义。

由于操作对象由确定型数据变为不确定型数据,一些操作必须进行扩充。如求数值操作,聚集操作以及求距离方向操作,原有的操作是通过某个函数的计算来实现,而在不确定的数据类型系统中,必须把这些函数延拓为灰函数。例如, GDistance(gp1, gp2)操作返回两个点之间的距离,结果有可能是确定的实数值 6.5km也可能是个灰数 $G_{real}[5, 8]$ km。又如, initial, final返回移动对象定义时间内最早、最终时刻的值。Tossebro等人认为,这两个操作不再具有实际意义,需要用别的方法来替代[5]。实际上,引入不确定性后,最早和最终时刻本身可以扩充为一个不确定的概念,这两个操作还有意义,就如同非时态操作中的聚集操作 min, max一样。这里可以采取两种方案来进行扩充,一是直接返回最早可能时间和最晚可能时间的对象值,即最早、最晚时间是确定的时间点;二是由于对象值本身是不确定概念,直接返回该对象在最早的不确定时间和最晚不确定时间的值,最早、晚时间是不确定时间点。

另外,不确定性的引入还会使语义发生变化。一些不确定概念的引入会给布尔操作以及谓词操作带来新的含义。例如,引入不确定性后,谓词操作 inside返回值也将变为一个[0, 1]上的灰数。

5 不确定性查询的表达方式举例

某作战指挥系统中,关系 EnemyTarget记录敌方目标的名称、目标编号、运动轨迹以及威胁区域。由于传感器存在误差,只知道目标的大致信息,因此其运动轨迹和威胁区域是不确定的移动空间对象。关系 StormArea记录危险气候的编号以及其覆盖区域,其区域是不确定的移动区域对象。Site记录阵地的信息。GuardedArea记录可控制的区域,也是不确定的区域对象,具体关系模式如下:

EnemyTarget(TargetId: integer, class: string, ThreatonArea: $G_{moving(region)}$, traj: $G_{moving(point)}$)

StormArea(Id: integer, kind: string, area: $G_{moving(region)}$)

Site(id: integer, name: string, pos: point)

GuardedArea(SiteId: integer, pos: G_{region})

例 1 敌 301号空中目标大概什么时候会威胁到我 02防空阵地?

Select Inst(Initial(at(e. traj, s. pos))), val(Initial(at(e. traj, s. pos)))

For Each EnemyTarget e, Site s

Where e. targeted=301 And s. id=2;

例 2　筛选出敌方位置信息最不确定的目标?

```
Select e. targetid
For Each EnemyTarget e
Where max(greyness(e. traj))
```

6 结　论

时空对象的不确定性是普遍存在的,但是目前还没有能够系统表示时空对象不确定性的抽象表示模型。Tossebro的模糊时空数据模型要求事先拥有对象的模糊隶属函数,因而模型的主观成分较大,也难以具体实现。现有的基于粗集的不确定性模型着重解决空间不确定性,在时空的不确定性处理上没有涉及 Wolfson O, Cressie N等人的相关讨论针对某种不确定性时空对象,并不能提供完整的时空数据模型。本文提出的灰色时空数据类型系统建立在灰集理论基础上,包括基于灰集的基本类型、空间类型、时间类型以及时空类型。这些灰色数据类型拥有上、下隶属度函数,将对象的不确定性限制在一个灰色带型区域中。在处理部分信息已知,部分信息未知的时空对象时,上、下隶属度函数往往可以简单以 0, 1两个常数来代替,因而更利于实现。通过直接借鉴灰建模、灰预测的有关研究成果,本模型在时空不确定离散模型实现,时空预测方面还有很大优势[17]。

在给出了抽象数据类型的基础上,本文还探讨了不确定引入后对原有时空数据操作进行扩充的基本思路,最后给出了一些应用实例。我们可以看出,不确定性时空数据库可以处理更加复杂的查询。

然而,还有许多方面需要进一步研究:

(1)为实现基于灰集的不确定性时空数据库系统,下一步的工作首先是灰色离散数据模型的研究,研究灰色抽象表示模型的离散实现,确定灰色数据类型系统的数据结构。

(2)在引入不确定性后,时空分析操作的复杂性会大大增加,需要对不确定的时空操作作更加细致的分析,有针对性的研究如何利用现有的确定性时空分析操作来实现相关不确定性分析操作算法。

参 考 文 献 (References)

[1] Erwig M, Schneider M. Vague Regions[A]. 5th Symp. On Advances in Spatial Databases[C]. LNCS 1262, 1997, 298—320.

[2] Schneider M. Uncertainty Management for Spatial Data in Database: Fuzzy Spatial Data Types[A]. 6th Int. Symp. On Advances in Spatial Databases[C]. LNCS 1651, Springer Verlag, 1999, 330—351.

[3] Vazirgiannis M. Uncertainty Handling in Spatial Relationships[A]. ACM-SAC[C]. Como, Italy, 2000.

[4] Ahlqvist O, Keukelaar J, Oukbir A. Using Rough Classification to Represent Uncertainty in Spatial Data[R]. 10th Coll. Of Spatial Information Research Centre, University of Otago, New Zealand, 16—19 Nov., 1998.

[5] Tossebro E, Nygard M. An Advanced Discrete Model for Uncertain Spatial Data[A]. 3rd Int. Conference on Web-Age Information Management[C]. 2002, 37—51.

[6] Tossebro E, Nygard M. Uncertainty in Spatiotemporal Databases[A]. 2nd Biennial Int. Conference on Advances in Information Systems[C]. 2002, 43—53.

[7] Pfoser D, Tryfona N. Capturing Fuzziness and Uncertainty of Spatiotemporal Objects[A]. Fifth East-European Conference on Advances in Databases and Information Systems[C]. Lithuania, Vilnius, 2001, 25—28.

[8] Wolfson O. Querying the Uncertain Position of Moving Objects[M]. Temporal Databases: Research and Practice. Springer Verlag LNCS 1399, 1998.

[9] Cressie N, Kornak J. Spatial Statistics in the Presence of Location Error with an Application to Remote Sensing of the Environment[J]. Statistical Science, 2003, **18**(4): 436—456.

[10] Zou Y J, Qin X L. The Algorithms and Query Language for the Spatiotemporal Analysis Database System STADBS[D]. Master thesis of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2002. [邹永娟,秦小麟. 时空分析数据库 STADBS的分析操作算法及查询语言[D]. 硕士学位论文,南京航空航天大学, 2002.]

[11] Qin X L. The Basis for Moving objects Data Type and Its Operations[J]. Computer Science, 2000, **27**(1): 26—30. [秦小麟. 移动空间数据类型和操作的初步研究[J]. 计算机科学, 2000, **27**(1): 26—30.]

[12] Wang Q Y. Basis of Grey Mathematics[M]. Hua Zhong University of Science and Technology Press, 1996. [王清印. 灰色数学基础[M]. 华中理工大学出版社, 1996.]

[13] Deng J L. Papers on the Grey System Theory[C]. Ocean Press, 1989. [邓聚龙. 灰色系统论文选[C]. 海洋出版社, 1989.]

[14] Liu S F. Grey System Theory and its Applications[M]. Science Press, Second Edition, 1999. [刘思峰等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社, 第二版, 1999.]

[15] Guting R H, Bohlen M F, Erwig M. A Foundation for Representing and Querying Moving Objects[J]. ACM Transactions on Database Systems, 2000, **25**(1): 1—42.

[16] Erwig M, Guting R H, Schneider M, et al. Abstract and Discrete Modeling of SpatioTemporal Data Types[A]. 6th ACM Symp. on Geographic Information Systems (ACM GIS)[C], Washington, DC, 1998, 131—136.

[17] Bao L, Qin X L. The Overview of Grey Spatiotemporal Data Types[A]. AWFS 2003, 2nd Asian Workshop on Foundations of Software[C], Nanjing, 2003, 53—57.

Uncertain Spatio-temporal Data Model Based on Grey Sets

BAO Lei, QIN Xiao-lin
(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The majority of spatio-temporal DBMS assume objects to be precise, but this simplification can't work in many military, navigation and environmental applications. Many forms of spatio-temporal data can't be measured exactly, and in these kinds of objects exists spatio-temporal indeterminacy. Spatio-temporal uncertainty management is a new topic for researchers on spatio-temporal databases. The current method based on Fuzzy Sets is not well applicable because it imposes strict restrictions on the objects' uncertainty. In this paper, a new abstract model of uncertain spatio-temporal objects is presented. This model is based on the Grey Sets and is more applicable for the presentation and manipulation of partial unknown spatio-temporal objects. This paper first gives the formal definition of uncertain abstract data types based on the Grey Sets, such as the definition of base types, spatial types and spatio-temporal types. Then we take a glimpse at the aspect of uncertain spatio-temporal analysis. Finally, examples of uncertain query is presented.

Key words: spatio-temporal database; grey sets; uncertainty; abstract data type